



# Modélisation et simulation de la Machine Asynchrone a Double Alimentation MADA



Réaliser par: **Aouina abdallah** <sup>(1)</sup>, **Naili Mostafa** <sup>(1)</sup>, **Bensaàdia Abdouwahab** <sup>(1)</sup>

Proposé et Dirigé par : **Dr. Abderrahim ZEMMIT** <sup>(2)</sup>

(1) Licence Electromécanique – Département Génie électrique – Faculté de technologie – Université de M'sila

(2) Enseignante au Département Génie électrique – Faculté de technologie – Université de M'sila

**Résumé :** La machine à double alimentation s'apparente fortement du point de vue technologique à la machine asynchrone à rotor bobiné classique.

La double alimentation concerne les machines à courant alternatif ayant des enroulements statorique et rotorique biphasés ou triphasés où le stator est alimenté par un réseau de tension fixe et le rotor par une alimentation variable qui peut être une source de tension ou une source de courant.

L'objet de cet article est l'étude de la modélisation et de la simulation de la machine à induction à double alimentation (MADA) alimentée par le réseau.

**Motés clés :** Machine Asynchrone à double alimentation (MADA), Alimentation par le réseau, Modélisation, Simulation.

## 1. INTRODUCTION

Dans le domaine des entraînements de grandes puissances (tel le laminoir par exemple), il existe une solution nouvelle et originale, utilisant une machine alternative fonctionnant dans un mode un peut particulier. Il s'agit de la machine à double alimentation (MADA), le stator est alimenté par un réseau fixe et le rotor par alimentation variable qui peut être une source de tension ou une source de courant ,[1], cette dernière présente beaucoup d'avantages par rapport à celle en tension, car elle procure une grande souplesse et une plus grande simplicité de fonctionnement[2]. Elle est utilisée dans les grandes puissances d'entraînement (tel un laminoir par exemple).

Son utilisation est préférée pour ses propriétés de réglage de la vitesse par action sur des résistances placées dans le circuit rotorique, ou encore pour sa possibilité de démarrer sans demander un courant important du réseau.[2].

Le but de notre travail est étude de la machine asynchrone à double alimentation **MADA** ; dans ce contexte, L'article comporte deux parties:

La première partie, sera consacrée à l'étude des entraînements utilisés dans l'industrie. Un aperçu contenant des applications permettra de situer le présent travail.

Dans la deuxième partie, on rappellera le principe de modélisation de la machine dans le repère diphasé de Park,  $(d, q)$  en décrivant son modèle d'état et notamment les expressions donnant le couple électromagnétique et la vitesse de rotation de la machine. Finalement nous exposons les résultats de simulation lors du fonctionnement à vide et en charge.

Nous terminons notre travail par une conclusion générale établissant une synthèse du travail réalisé, et indiquant les éléments a approfondie. Ainsi que les perspectives et éventuelles d'améliorations qui peuvent être envisagées.



Fig (1) : Représentation de la MADA (wikibidia2010)

## 2. GENERALITES SUR LA MACHINE A DOUBLE ALIMENTATION(MADA):

### 2.1 LA DOUBLE ALIMENTATION:

Lorsqu'on alimente simultanément, le stator et le rotor d'un moteur asynchrone à rotor bobiné, à partir d'un même réseau, fig. (2-1), le courant statorique  $I_1$  va créer un champ qui tourne à la vitesse  $n_1 = fs/p$ , et celui du rotor  $I_2$ , va créer un champ tournant à la vitesse  $n_1 \pm n_2 = \pm fs/p$ . Le signe (-) indique que les deux champs tournent dans des sens opposés, et (+) dans le même sens [3]

Dans ce cas, le moteur à double alimentation tourne à la vitesse:  $n = n_1 \pm n_2$

On a deux vitesses: **a)  $n=0$**  et **b)  $n=2n_1$** . Donc la machine peut fonctionner à une vitesse double du synchronisme à vide. En charge le moteur envoie alors dans le réseau des courants à la fréquence de glissement qui influent sur la qualité de l'énergie de réseau [3].

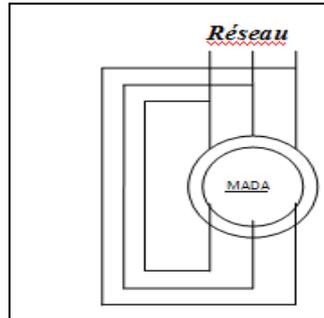


Fig. (2.1) Machine à double alimentation

Cette machine a fait l'objet de trois variantes de fonctionnement :

- ◆ Fonctionnement en moteur (alimenté par un seul convertisseur).
- ◆ Fonctionnement en moteur (alimenté par deux convertisseurs).

#### 2.2.1. FONCTIONNEMENT EN MOTEUR AVEC UN CONVERTISSEUR :

Dans ce type de fonctionnement figure (2.2), le stator est relié au réseau à fréquence et tension constantes, par contre le rotor est alimenté par un convertisseur qui peut être un cycloconvertisseur ou un onduleur. Cette solution permet de réduire fortement la puissance du convertisseur à condition que le système à entrainer tolère une interruption de couple à une certaine vitesse [4].

#### 2.2.2. FONCTIONNEMENT EN MOTEUR AVEC DEUX CONVERTISSEUR :

Ce type de fonctionnement est dit synchro-duo, qui est une machine asynchrone bobinée au stator et au rotor et alimentée par deux convertisseurs figure (2.3), ces deux convertisseurs seront toutefois identiques mais peuvent être de puissance différentes. L'originalité de ce principe est d'aussi d'optimiser la charge conférée aux deux convertisseurs, dans ce cas le rapport de transformation de la machine sera de 1 et la machine sera alimentée de façon symétrique par son stator et son rotor : mêmes valeurs de tension, de courant et de fréquence.

Cette solution permet une variation de la vitesse ; elle permet en outre un fonctionnement à couple constant et un fonctionnement à puissance constante [4].

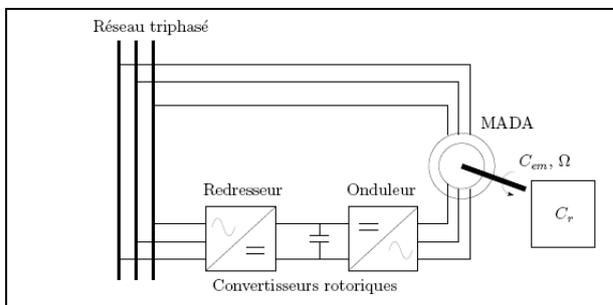


Fig (2.2).MADA utilisée en moteur avec seul convertisseur

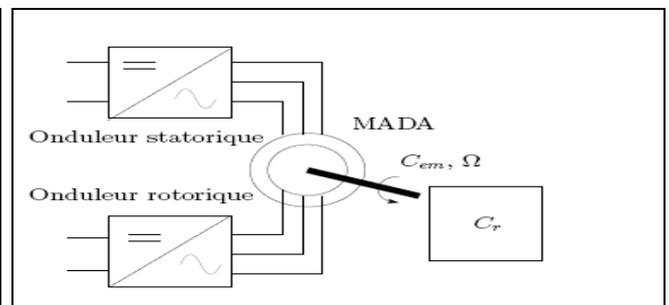


Fig. (2.3).MADA utilisée en moteur avec deux convertisseurs

### 2.3 CONVERTISSEUR:

On peut convertir directement la fréquence du réseau industriel en une fréquence variable plus faible à l'aide d'un convertisseur de fréquence. Le convertisseur permet la circulation de la puissance du glissement dans les deux sens. Et donc la vitesse de la machine peut être commandée dans des vastes

gamme d'*hyposynchronisme* et d'*hypersynchronisme* avec des dispositifs de marche en moteur ou en générateur. ie la MADA peut fonctionner dans les quatre quadrants : en moteur ou en générateur, en hypo ou en *hypersynchronisme*.

**2.3.1 FONCTIONNEMENT EN MOTEUR HYPOSYNCHROME:**

La puissance du stator est constante et la puissance du glissement est envoyée de nouveau au réseau. Ici la fréquence de glissement dans le rotor crée un champ tournant dans le même sens que celui du stator et la vitesse du rotor :  $\omega_r = \omega_s - g\omega$ .

**2. 3.2 FONCTIONNEMENT EN MOTEUR HYPERSYNCHROME :**

compense la puissance du stator. Le surplus de puissance dans le stator est injecté dans le réseau. Pour qu'en puisse réaliser ce mode, en inverse l'ordre de phase du cycloconvertisseur de sorte que le champ tournant induit par la fréquence du glissement soit en opposition de phase avec celui du stator.

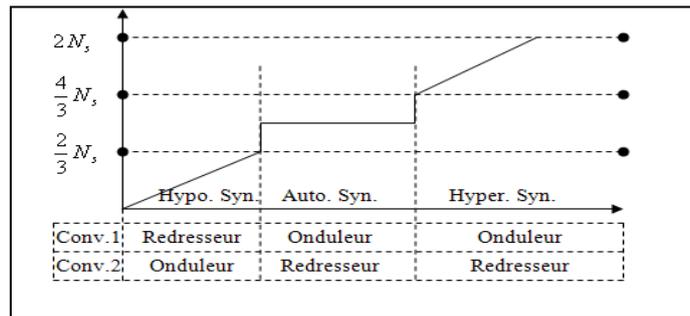


Fig. (2.4) Fonctionnement de la MADA.

**2.5 REGIME DE FONCTIONNEMENT DE LA MADA:**

Dans le moteur à double alimentation, l'enroulement rotorique est couplé à une source de tension à fréquence variable. En fonction de type de régulation de fréquence, on a deux régimes de fonctionnement: *synchrone et asynchrone*.

**2.5.1 REGIME DE FONCTIONNEMENT SYNCHRONE:**

Pour ce régime, la fréquence du glissement est donnée indépendamment de la vitesse angulaire. Alors à chaque signal de commande correspond une fréquence déterminée  $f_r$  et une vitesse de fonctionnement  $w_r$  qui ne dépend pas de la charge [5], En faisant varier la fréquence  $f_r$ , on peut varier la vitesse. En régime synchrone, le moteur à double alimentation fonctionne comme une machine synchrone. Dans ce régime, on peut régler rapidement la vitesse pour des charges brusques, etc....

**2.5.2 REGIME DE FONCTIONNEMENT ASYNCHRONE:**

Pour ce régime de fonctionnement, la fréquence de la tension du réseau appliquée à l'enroulement rotorique de la machine à travers un système de régulation est toujours maintenue égale à la fréquence du glissement [5]. Dans ce cas, on ne règle que l'amplitude et la phase de la tension du réseau.

Le moteur à double alimentation fonctionne toujours comme un moteur asynchrone, c'est-à-dire que le glissement du moteur varie avec la variation de la charge.

**3.MODELISATION ET SIMULATION DE LA MADA:**

**3.1 DESCRIPTION:**

La machine asynchrone à double alimentation comporte trois bobines statorique ( $A_s, B_s, C_s$ ), et aussi trois bobines rotoriques décalées entre elles par un angle de  $\frac{2\pi}{3}$  identique de répartition et similaire à celles du stator, ( $A_r, B_r, C_r$ ) comme il est illustré sur la figure (3.1)

**3. 2 HYPOTHESES SIMPLIFICATRICES DE LA MADA :**

Pour simplifier l'étude de la machine asynchrone idéalisée, on considère les hypothèses simplificatrices suivantes :

- ▶ La parfaite symétrie de la machine tant magnétique qu'électrique.
- ▶ Les forces magnétomotrices créent par chaque phase du stator ou du rotor ont une répartition sinusoïdale.
- ▶ L'effet de la variation de la température sur les résistances statorique et rotorique est négligeable
- ▶ On néglige l'effet de peau.
- ▶ L'entrefer constant.

- ▶ Le circuit magnétique non saturé et perméabilité constante.
- ▶ Les pertes ferromagnétiques négligeables.

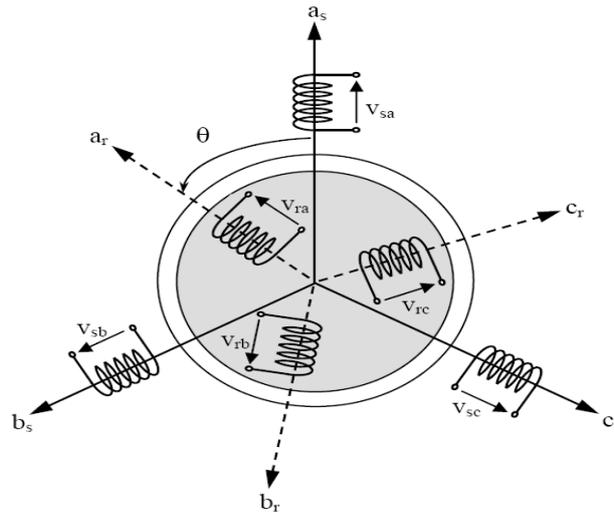


Fig. (3.1) : Représentation simplifié de la MADA

### II.2.2. Equations électriques

Dans les conditions précédentes les équations sous forme matricielle s'écrivent :

- Pour le stator :

$$\begin{bmatrix} V_{as} \\ V_{bs} \\ V_{cs} \end{bmatrix} = \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \Phi_{as} \\ \Phi_{bs} \\ \Phi_{cs} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 \\ 0 & 0 & R_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{as} \\ I_{bs} \\ I_{cs} \end{bmatrix} \quad (\text{II-1})$$

avec :  $V_s$  et  $\Phi_s$  ; la tension et le flux statoriques ,  $I_s$  et  $R_s$  ; le courant et la résistance statorique .

- Pour le rotor :

$$\begin{bmatrix} V_{ar} \\ V_{br} \\ V_{cr} \end{bmatrix} = \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \Phi_{ar} \\ \Phi_{br} \\ \Phi_{cr} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} R_r & 0 & 0 \\ 0 & R_r & 0 \\ 0 & 0 & R_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ar} \\ I_{br} \\ I_{cr} \end{bmatrix} \quad (\text{II-2})$$

avec :  $V_r$  et  $\Phi_r$  ; la tension et le flux rotoriques ,  $I_r$  et  $R_r$  ; le courant et la résistance rotorique .

### II.2.3. Equations magnétiques

Chaque flux comporte une interaction avec les courants de toutes les phases y compris la sienne.

$$\begin{bmatrix} \Phi_{as} \\ \Phi_{bs} \\ \Phi_{cs} \\ \Phi_{ar} \\ \Phi_{br} \\ \Phi_{cr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_s & M_s & M_s & M_1 & M_3 & M_2 \\ M_s & L_s & M_s & M_2 & M_1 & M_3 \\ M_s & M_s & L_s & M_3 & M_2 & M_1 \\ M_1 & M_2 & M_3 & L_r & M_r & M_r \\ M_3 & M_1 & M_2 & M_r & L_r & M_r \\ M_2 & M_3 & M_1 & M_r & M_r & L_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{as} \\ I_{bs} \\ I_{cs} \\ I_{ar} \\ I_{br} \\ I_{cr} \end{bmatrix} \quad (\text{II-3})$$

Les valeurs des inductance mutuelle entre les phases statoriques et rotoriques sont ;

$$\begin{cases} \mathbf{M}_1 = \mathbf{M} \cos(\Theta) \\ \mathbf{M}_2 = \mathbf{M} \cos(\Theta - \frac{2\pi}{3}) \\ \mathbf{M}_3 = \mathbf{M} \cos(\Theta - \frac{4\pi}{3}) \end{cases}$$

avec :  $\mathbf{M}$  ; valeur maximale de l'inductance mutuelle entre phase statorique et rotorique .

### II.3.1 Application de la transformation de Park à la MADA

Les enroulements réels statoriques ( $A, B, C$ ) et rotoriques ( $a, b, c$ ) sont transformés respectivement en deux enroulements statoriques fictifs et deux enroulements également fictifs rotoriques dans un même référentiel diphasé ( $U, V, O$ ) afin de simplifier les équations.

Désignons par  $\theta_s$  et  $\theta_r$  les angles électriques que forment les axes du stator et du rotor avec l'axe direct du référentiel biphasé de Park[3].

La figure (II.3) illustre la position relative des différents référentiels dans l'espace.

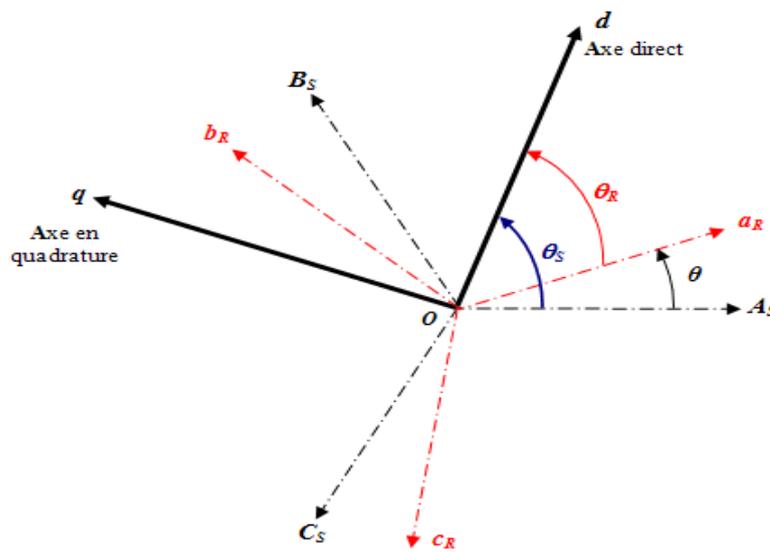


Fig. II.3 Position spatiale des différents référentiels[2].

#### II.4.1.c Référentiel fixé par rapport au champ tournant ( $d, q$ ) :

Pour un référentiel lié au champ tournant, on a  $\omega_s = \omega_r + \omega_m$  dans le système d'équation devient comme suit :

$$\begin{bmatrix} V_{ds} \\ V_{qs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s & 0 \\ 0 & R_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ds} \\ I_{qs} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \Phi_{ds} \\ \Phi_{qs} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -\omega_s \\ \omega_s & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Phi_{ds} \\ \Phi_{qs} \end{bmatrix} \quad \text{(II-17)}$$

$$\begin{bmatrix} V_{dr} \\ V_{qr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_r & 0 \\ 0 & R_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{dr} \\ I_{qr} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \Phi_{dr} \\ \Phi_{qr} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -\omega \\ \omega & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Phi_{dr} \\ \Phi_{qr} \end{bmatrix} \quad \text{(II-18)}$$

Les expressions des flux sont données par :

$$\begin{cases} \Phi_{ds} = l_s I_{ds} + M I_{dr} & (a) \\ \Phi_{qs} = l_s I_{qs} + M I_{qr} & (b) \\ \Phi_{dr} = l_r I_{dr} + M I_{ds} & (c) \\ \Phi_{qr} = l_r I_{qr} + M I_{qs} & (d) \end{cases} \quad (II-19)$$

Cette dernière représentation qui fait correspondre des grandeurs continues aux grandeurs sinusoïdales en régime permanent, la conception du contrôle vectoriel par orientation du flux nécessite ce choix et les modèles d'action dépendent de la position du référentiel par rapport aux divers axes de flux.

En remplace (II-19) dans (II-17) et (II-18) on obtient :

$$\begin{cases} V_{ds} = R_s I_{ds} + l_s \frac{dI_{ds}}{dt} + M \frac{dI_{dr}}{dt} - \omega_s l_s I_{qs} - \omega_s M I_{qr} & (a) \\ V_{qs} = R_s I_{qs} + l_s \frac{dI_{qs}}{dt} + M \frac{dI_{qr}}{dt} + \omega_s l_s I_{ds} + \omega_s M I_{dr} & (b) \\ V_{dr} = R_r I_{dr} + l_r \frac{dI_{dr}}{dt} + M \frac{dI_{ds}}{dt} - \omega l_r I_{qr} - \omega M I_{qs} & (c) \\ V_{qr} = R_r I_{qr} + l_r \frac{dI_{qr}}{dt} + M \frac{dI_{qs}}{dt} + \omega l_r I_{dr} + \omega M I_{ds} & (d) \end{cases} \quad (II-20)$$

En générale, le référentiel lié au champ tournant est utilisé pour réaliser le contrôle vectoriel à fait que les grandeurs deviennent continues.

De plus, les équations représentant le mouvement mécanique sont données par :

$$C_{em} = P.M.(I_{sq}.I_{rd} - I_{sd}.I_{rq}) \quad (II-21)$$

$$C_e - C_r = j \frac{d\Omega}{dt} + f\Omega \quad (II-22)$$

avec:  $C_{em}$  et  $C_r$  ; le couple électromagnétique et le couple résistant (la charge mécanique ).  
 $f$  et  $j$  ; coefficient de frottement et moment d'inertie de l'arbre de rotor .

## II.5 Modèle de la MADA sous forme d'équation d'état

Pour la machine asynchrone à double alimentation les variables de contrôle sont les tensions statoriques et rotoriques. En considérant les courants statoriques et rotoriques comme des vecteurs d'état, alors le modèle de la MADA est décrit par l'équation d'état suivante :

$$\begin{cases} \dot{X} = \frac{dX}{dt} = AX + BU \\ Y = C.X \end{cases} \quad (II-23)$$

Avec :

X : Vecteur d'état.

A : Matrice d'évolution d'état du système.

B : Matrice de la commande.

U : Vecteur du système de commande.

Y : vecteur de sortie,

C : Matrice de sortie (matrice d'observation),

Où :

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad X = \begin{bmatrix} I_{ds} \\ I_{qs} \\ I_{dr} \\ I_{qr} \end{bmatrix}, \quad U = \begin{bmatrix} V_{ds} \\ V_{qs} \\ V_{dr} \\ V_{qr} \end{bmatrix}$$

Par une représentation matricielle :

$$\begin{bmatrix} L_s & 0 & M & 0 \\ 0 & L_s & 0 & M \\ M & 0 & L_r & 0 \\ 0 & M & 0 & L_r \end{bmatrix} \cdot \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} I_{sd} \\ I_{sq} \\ I_{rd} \\ I_{rq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -R_s & \omega_s L_s & 0 & \omega_s M \\ -\omega_s L_s & -R_s & -\omega_s M & 0 \\ 0 & (\omega_s - \omega)M & -R_s & (\omega_s - \omega)L_r \\ -(\omega_s - \omega)M & 0 & -(\omega_s - \omega)L_r & -R_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{sd} \\ I_{sq} \\ I_{rd} \\ I_{rq} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{sd} \\ V_{sq} \\ V_{rd} \\ V_{rq} \end{bmatrix} \quad (II.24)$$

et

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} I_{sd} \\ I_{sq} \\ I_{rd} \\ I_{rq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_s & 0 & M & 0 \\ 0 & L_s & 0 & M \\ M & 0 & L_r & 0 \\ 0 & M & 0 & L_r \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -R_s & \omega_s L_s & 0 & \omega_s M \\ -\omega_s L_s & -R_s & -\omega_s M & 0 \\ 0 & (\omega_s - \omega)M & -R_s & (\omega_s - \omega)L_r \\ -(\omega_s - \omega)M & 0 & -(\omega_s - \omega)L_r & -R_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{sd} \\ I_{sq} \\ I_{rd} \\ I_{rq} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_s & 0 & M & 0 \\ 0 & L_s & 0 & M \\ M & 0 & L_r & 0 \\ 0 & M & 0 & L_r \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} V_{sd} \\ V_{sq} \\ V_{rd} \\ V_{rq} \end{bmatrix} \quad (II.25)$$

On pose :

$$[L] = \begin{bmatrix} L_s & 0 & M & 0 \\ 0 & L_s & 0 & M \\ M & 0 & L_r & 0 \\ 0 & M & 0 & L_r \end{bmatrix} \quad \text{et} \quad [Z] = \begin{bmatrix} -R_s & \omega_s L_s & 0 & \omega_s M \\ -\omega_s L_s & -R_s & -\omega_s M & 0 \\ 0 & (\omega_s - \omega)M & -R_s & (\omega_s - \omega)L_r \\ -(\omega_s - \omega)M & 0 & -(\omega_s - \omega)L_r & -R_s \end{bmatrix}$$

Alors l'équation (II.23) devient :

$$\frac{dX}{dt} = [L]^{-1} \cdot [Z] \cdot X + [L]^{-1} \cdot U \quad (II.26)$$

Par analogie de l'équation (II.26) avec l'équation (II.23) on trouve :

$$A = [L]^{-1} \cdot [Z] \quad \text{et} \quad B = [L]^{-1}$$

Dans le but de simplifier la réalisation par *Simulink* /*MATLAB* la matrice  $[Z]$  peut être décomposée de la forme suivante :

$$[Z] = -[Z_1] - \omega_s [Z_2] + \omega_s [Z_3]$$

$$\text{Avec : } [Z_1] = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 & 0 \\ 0 & 0 & R_r & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R_r \end{bmatrix}, [Z_2] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & M & 0 & L_r \\ -M & 0 & -L_r & 0 \end{bmatrix}, [Z_3] = \begin{bmatrix} 0 & L_s & 0 & M \\ -L_s & 0 & -M & 0 \\ 0 & M & 0 & L_r \\ -M & 0 & -L_r & 0 \end{bmatrix}$$

## II.6 Simulation de la machine asynchrone à double alimentation

Pour réaliser la simulation de la MADA ; on peut transférer le modèle représenté par les équations (II-21), (II-22) et (II-23) sous forme de structure en schéma bloc comme il est illustré sur la figure (II-4).

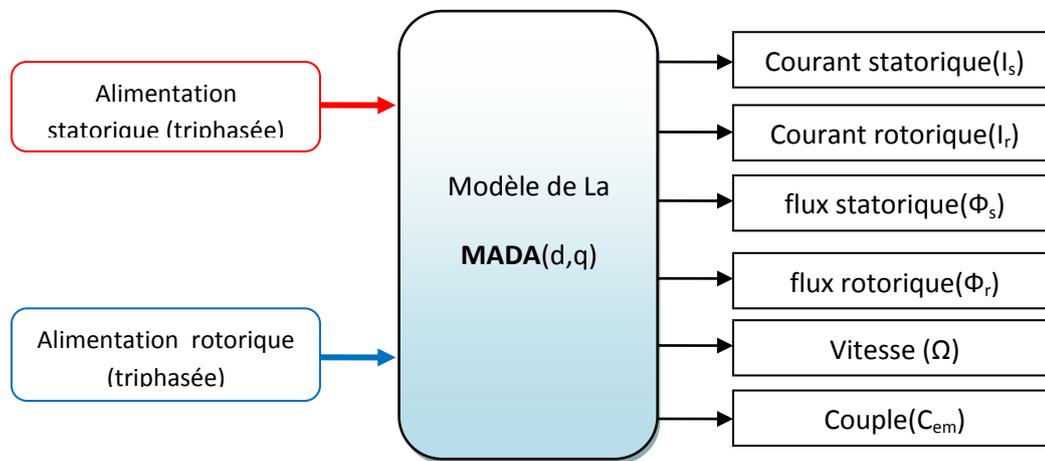


Fig. II.4 Schéma bloc de simulation de la MADA.

## II.7 Résultats de simulation de la MADA

Afin de simuler notre machine, on a fait appel au logiciel *MATLAB/Simulink*. Les paramètres de la machine sont donnés en annexe A.

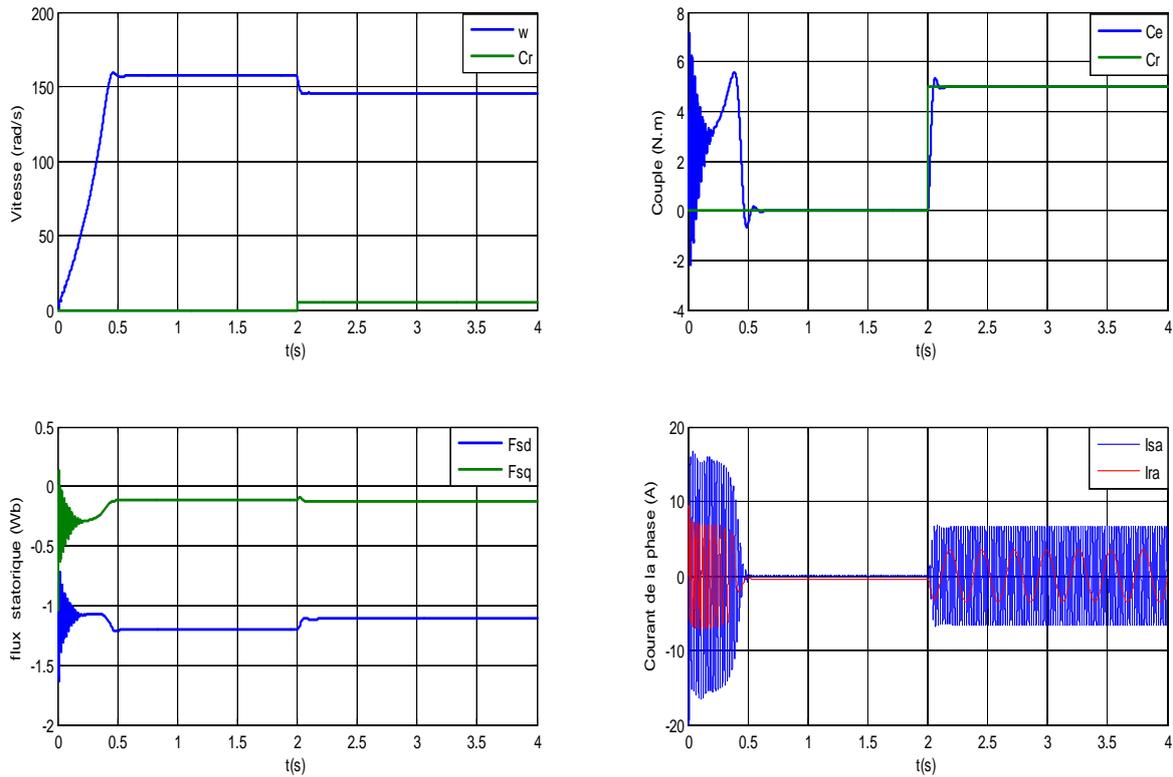
Pour faire un bon fonctionnement de la MADA, on préfère de suivre la procédure suivante :

A) Pour le premier fonctionnement, on a simulé le comportement dynamique de la MADA sans alimentation rotorique (rotor en court circuit), le stator étant alimenté par un réseau triphasé équilibré, que signifie que la MADA fonctionne comme une machine asynchrone à rotor bobiné en court circuit.

### II.7.1) $V_r = 0$ v, $f_r = 0$ Hz, (rotor en court circuit), $C_r = 5$ N.m à $t = 2$ sec

La figure (II.5), représente le fonctionnement de la MADA sous la charge nominale (5 N.m) après un démarrage à vide et sans alimentation rotorique (elle fonctionne comme une machine asynchrone classique), on remarque que la vitesse atteint sa valeur finale qui vaut 157.08 rd/s environ au bout d'un temps de réponse de 0.56 sec, et on remarque également que le courant du rotor est faible.

Après l'introduction de la charge à l'instant  $t = 2$  sec, la caractéristique de la vitesse présente une diminution de la vitesse de 157.08 rad/sec à 145.42 rad/sec environ, traduite par une augmentation du glissement de la machine, et par conséquent on remarque que les courants statorique et rotorique sont augmentés.



**Fig II.5** Résultats de simulation de fonctionnement de la MADA sans alimentation rotorique (rotor en court circuit,  $V_r = 0$  et  $f_r = 0$  Hz) avec un couple de charge (5 N.m) à  $t = 2$  sec .

**B)** Pour le deuxième mode de fonctionnement, on a simulé le comportement dynamique de la MADA avec une alimentation rotorique ( $V_r = 10$  v,  $f_r = 5$  Hz), (le stator étant alimenté par un réseau triphasé équilibré), en deux régimes hypo/hyper-synchrone.

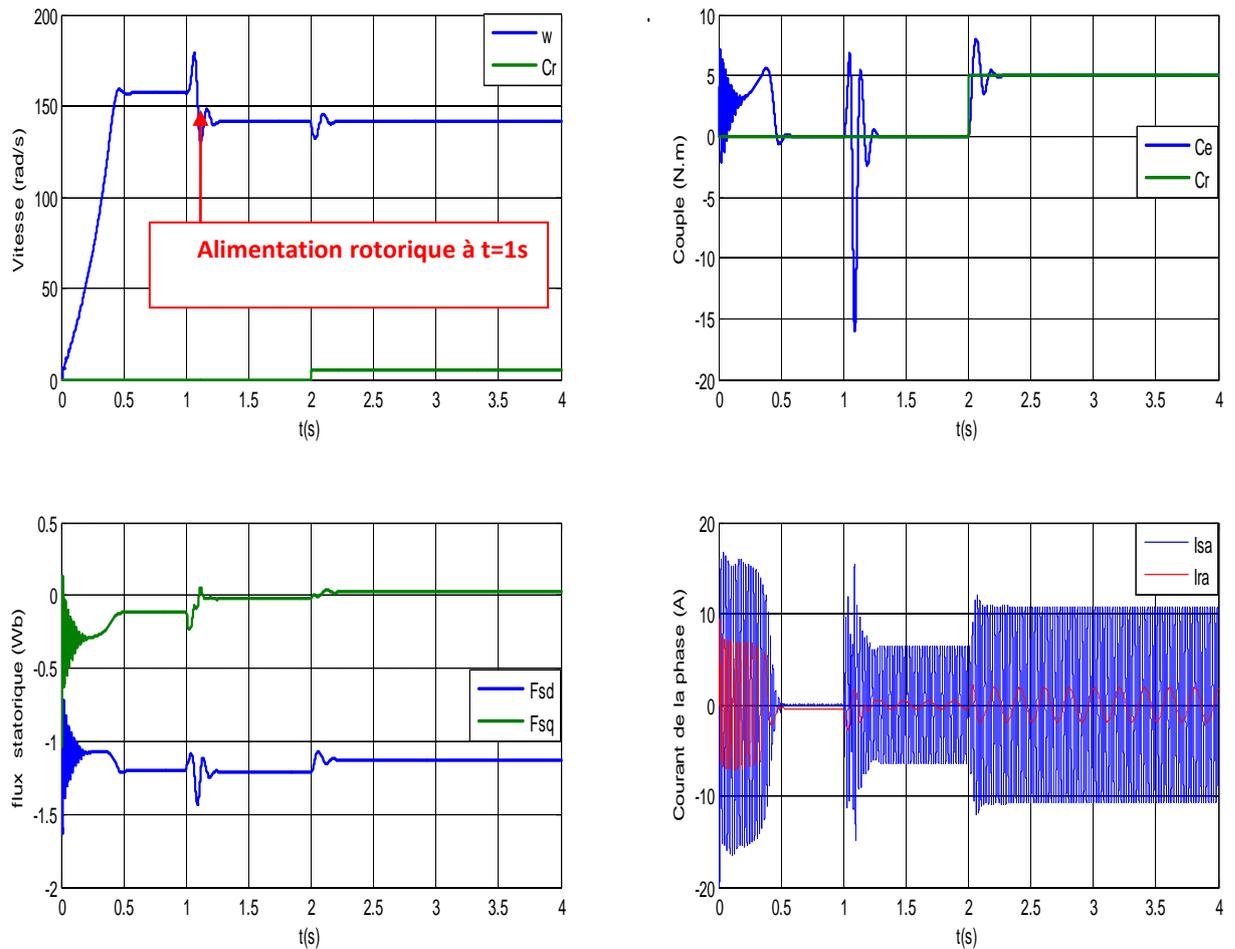
Tout d'abord, on fait tourner la MADA en mode asynchrone dans quelques secondes puis on injecte une tension alternative aux bornes du rotor, et Pour une meilleure observation des caractéristiques, nous supposons que l'instant de l'injection d'une tension est  $t = 1$  sec et le temps de l'application du couple de charge (5 N.m) est à  $t = 2$  sec.

### II.7.2) $V_r = 10$ v, $f_r = 5$ Hz, (mode hypo-synchrone), $C_r = 5$ N.m à $t = 2$ sec

La figure (II.6) représente le fonctionnement de la MADA lors du démarrage à rotor en court circuit, avant l'application de la charge on remarque les mêmes caractéristiques que celles obtenues dans le premier cas. Après l'instant 1 sec de simulation on remarque un pic sur le relevé de la vitesse (fonctionnement en mode hypo-synchrone), cela est dû à l'injection d'une tension alternative aux bornes du rotor, par conséquent le courant du rotor est augmenté.

Donc, toute augmentation au niveau de la tension rotorique influe sur les courants rotorique et statorique; d'autre part, on remarque que le couple reste stable dans le régime établi mais avec oscillation durant un faible instant en régime transitoire.

A l'instant  $t = 2$  sec, on applique un couple de charge (5 N.m), on observe que pour une légère variation de la charge, la vitesse reste toujours constante ; cela donc un avantage de la machine asynchrone à double alimentation.



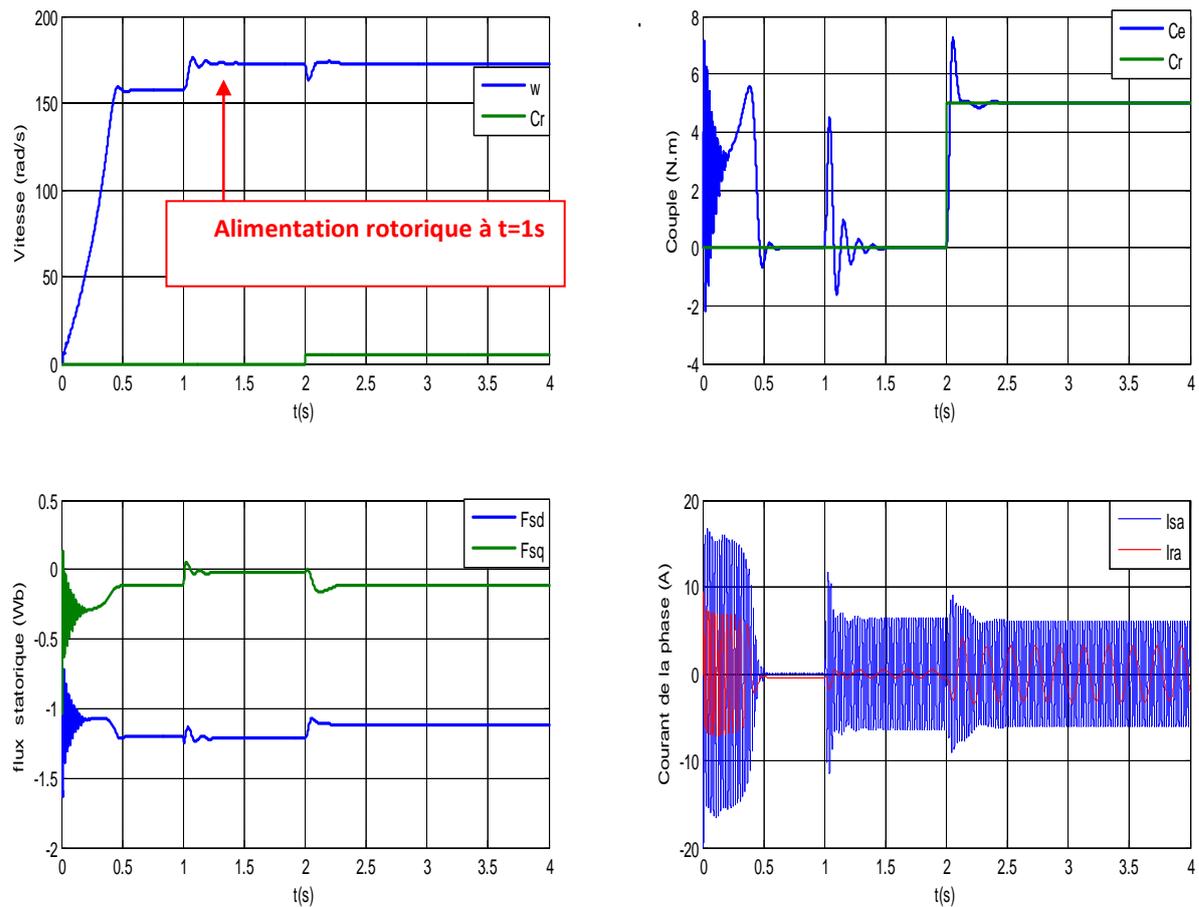
**Fig II.6** Résultats de simulation de la MADA avec alimentation rotorique à  $t=1s$  ( $V_r = 10\text{ v}$  et  $f_r = 5\text{ Hz}$ ), (hypo-synchrone), avec un couple de charge ( $5\text{ N.m}$ ) à  $t = 2\text{ sec}$

**II.7.3)  $V_r = 10\text{ v}$ ,  $f_r = 10\text{ Hz}$ , (régime hyper-synchrone),  $C_r = 5\text{ N.m}$  à  $t = 2\text{ sec}$  :**

La simulation du modèle montre clairement les capacités de la MADA en fonctionnement en mode hyper-synchrone même si la fréquence statorique est fixée à 50 Hz.

La MADA ne peut démarrer directement en mode double alimentée, elle doit être en rotor court-circuité pour sa mise en marche en asynchrone [4],[13].

A l'instant  $t = 2\text{ sec}$ , on applique aussi un couple de charge ( $5\text{ N.m}$ ), on constate que la vitesse reste constante avec une légère variation durant l'application de la charge (figure II.7).



**Fig II.7** Résultats de simulation de la MADA avec alimentation rotorique à  $t=1s$  ( $V_r = 10\text{ v}$  et  $f_r = 5\text{ Hz}$ ), (hyper-synchrone), avec un couple de charge (5 N.m) à  $t = 2\text{ sec}$

Les résultats obtenus par les figures (II.5) , (II.6) et(II.7), montrent bien le couplage existant entre les différentes variables de la machine, l'importance des pics de courant et du couple et les mauvaises performances dynamiques et statiques de la vitesse. Donc, pour améliorer la réponse dynamique de la machine et éliminer le couplage existant entre le couple et le flux, on a recours à la commande vectorielle qui permet d'avoir un contrôle indépendant du couple et du flux et un réglage de la vitesse.

#### 4. CONCLUSION GENERALE:

On a établi dans ce travail le modèle de la machine asynchrone double alimentée en passant du système réel triphasé au système diphasé linéaire dans le cadre de la transformation de Park.

La modélisation et la simulation de la machine asynchrone à double alimentation alimentée par le réseau, avec comme variation d'états le courant rotorique et le flux statorique ont permis de déterminer et d'analyser les différentes caractéristiques du couple et de vitesse pour différentes valeurs de fréquence et de tension rotorique.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- [1] **R. ABDESSEMED, M. KADJOUJ** « Modélisation des Machines Electriques », Presses de l'Université de Batna. 1997
- [2] **N, Ghedbane .A Medjadi** " *Commande de la Machine Asynchrone à Double Alimentation à base d'un régulateur RST*" Mémoire d'ingénieur d'Electromécanique Université de M'sila, juin 2006.
- [3] **A. Dendouga**, 'Commande par Mode Glissant de la Machine à Double Alimentation Alimentée par un Onduleur de Tension', Thèse de Magister, Université de Batna, 2004.
- [4] **S. Drid**, 'Contribution à la Modélisation et la Commande Robuste d'une Machine à Induction Double Alimenté à Flux Orienté avec Optimisation de la Structure d'Alimentation', Thèse de Doctorat, Université de Batna 2005.
- [5] **Y. Khadidja**, 'Réduction des Effets de la Tension Homopolaire dans les Associations Onduleurs Multiniveaux Moteur à Induction', Mémoire de Magister, Université de Batna, 2005.
- [6] **L. Khettache**, 'Etude et Commende d'un Système Eolien à Base d'une Machine Electrique Double Alimentée', Mémoire de Magister, Université de Batna, 2007.

## ANNEXES

### 1. LISTE DES SYMBOLES :

<b>MADA:</b>	Machine Asynchrone à Double Alimentation
<b>d , q :</b>	Indice des composantes orthogonales directs et en quadrature
<b>(<math>\alpha, \beta</math>) :</b>	Axes fixés au stator
<b>s , r :</b>	Indice du stator, du rotor
<b><math>R_s, R_r</math>:</b>	Résistance statorique, rotorique
<b><math>l_s, l_r</math> :</b>	Inductance propre statorique, Rotorique
<b><math>\Phi_s, \Phi_r</math> :</b>	Respectivement flux statorique et rotorique
<b>M :</b>	Inductance mutuelle stator- rotor
<b>p :</b>	Nombre de paire de pole
<b><math>\varphi_s, \Phi_s</math> :</b>	Flux statorique suivant les axes ( $\alpha, \beta$ )
<b><math>\Phi_r, \Phi_{qr}</math> :</b>	Flux rotorique suivant les axes (d-q)
<b><math>V_s, V_r</math> :</b>	Tension simple respectivement statorique et rotorique
<b><math>\theta_s, \theta_r</math> :</b>	Angle électrique statorique, rotorique
<b><math>\omega_s, \omega_r</math> :</b>	Pulsation statorique, rotorique
<b><math>C_{em}</math> :</b>	Couple électromagnétique
<b>Cr :</b>	Couple résistant

### 2. CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DE LA MACHINE UTILISEE :

La machine asynchrone utilisée est à rotor bobiné Double Alimentation avec les caractéristiques suivantes:

- Résistance du stator  **$R_s = 10 \Omega$**
- Résistance du rotor  **$R_r = 6.3 \Omega$**
- Mutuelle inductance  **$M = 0.4212 H$**
- Coefficient de dispersion  **$\sigma = 0.1713$**
- Inductance du rotor  **$L_r = 0.4642 H$**
- Inductance du stator  **$L_s = 0.4612 H$**
- Moment d'inertie  **$J = 0.02 kg.m$**
- Paire de pole  **$P = 2$**
- Couple nominal  **$C_n = 5 N.m$**
- Coefficient de frottement  **$f = 0 SI$**